饲粮中核黄素添加水平对生长獭兔肉品质、毛囊发育和免疫性能的影响

孙海涛[1,2] 郑 琛[3] 李福昌[3] 刘 磊[3*]

（1.山东省农业科学院畜牧兽医研究所，济南 250100；2.山东省畜禽疫病防治与繁育重点实验室，济南 250100；3.山东农业大学动物科技学院，泰安 271018）

摘 要：本试验旨在研究饲粮中核黄素添加水平对生长獭兔肉品质、毛囊发育和免疫性能的影响。选择体重相近的3月龄獭兔160只，随机分为4组，每组40个重复，每个重复1只兔。各组分别饲喂在基础饲粮中添加0（对照）、3、6和12 mg/kg核黄素的饲粮。预试期7 d，正试期53 d。结果表明：与对照组相比，饲粮中添加6、12 mg/kg核黄素显著降低了獭兔肌肉的滴水损失（P<0.05），饲粮中添加3、6、12 mg/kg核黄素显著提高了獭兔皮肤中总毛囊密度（P<0.05），饲粮中添加3、6 mg/kg核黄素显著提高了獭兔皮肤中初级毛囊密度（P<0.05），饲粮中添加6、12 mg/kg核黄素显著提高了獭兔皮肤中次级毛囊密度（P<0.05），饲粮中添加3、6 mg/kg核黄素显著降低了獭兔皮肤中次级毛囊密度/初级毛囊密度（P<0.05）。饲粮中核黄素添加水平对獭兔的胸腺重、胸腺指数及血清免疫球蛋白G、免疫球蛋白A、白细胞介素-2含量影响显著（P<0.05），且均随着饲粮中核黄素添加水平的升高呈先增加后降低的趋势，均在6 mg/kg添加组中达到最大值，显著高于对照组（P<0.05）。由此可见，3~5月龄生长獭兔饲粮中核黄素适宜添加水平为6 mg/kg（实际测定饲粮中核黄素水平为8.35 mg/kg）。

关键词：獭兔；核黄素；肉品质；毛囊发育；免疫性能

中图分类号：S829.1

核黄素是机体生长发育所必需的水溶性维生素，以辅酶与特定蛋白质结合的形式形成多种黄素酶，参与三大营养物质的代谢，与铁代谢及色氨酸、维生素C的合成有关，能提高机体的免疫能力，强化肝脏功能，为生长和组织修复所必需的维生素。在獭兔的饲粮供应量上，大多借鉴于已有的经验，如NRC（1977）等标准来进行添加，但这未必符合我国獭兔本土的产业标准。为实现獭兔集约化生产，建立科学合理的獭兔饲养标准成为必然。本实验室前期试验研究了饲粮中不同核黄素添加水平对生长獭兔生长发育的影响，发现饲粮中添加0~12 mg/kg核黄素对生长獭兔的体增重和采食量都没有显著影响[1]。但饲粮中添加核黄素可

收稿日期：2016-09-06

基金项目：现代农业产业技术体系建设专项(CARS-44-B-1)；山东省农业重大应用技术创新课题（肉、獭兔高效高产技术研究、集成与推广）；山东农业大学青年科技创新基金项目（2015—2016）；中国博士后科学基金（2015M58061）；山东农业大学博士后科学基金（2015—2017）；山东省现代农业产业技术体系特种经济动物创新团队建设项目（SDAIT-21-12）

作者简介：孙海涛（1980—），男，山东菏泽人，助理研究员，研究方向家兔生产。E-mail: wwww8888@163.com

*通信作者:刘 磊，讲师，E-mail: liusanshi1985@126.com

促进家禽生长发育，改善奶牛的生产性能[2-3]，这说明物种间对核黄素的需要量差异较大。核黄素在黄素激酶催化下磷酸化后先转变为其辅酶形式，即黄素单核苷酸（FMN），在焦磷酸化酶与黄素腺嘌呤二核苷酸（FAD）合成酶的共同催化下，ATP 和 FMN 结合生成 FAD。一般核黄素有 FAD、FMN 和游离维生素 B_2 3 种存在形式。在生物组织中，FAD 以共价键与特定蛋白质结合，形成与脂类、蛋白质和碳水化合物代谢密切联系的黄素酶蛋白，参与机体重要的氧化还原反应。但饲粮中烟酸的添加是否能影响到家兔免疫器官的发育以及免疫因子的分泌，目前尚未清楚。核黄素缺乏会导致机体肝脏黄素酶的活性抑制或者种类减少，从而引起肝脏脂肪与糖原的积累。黄素酶是脂肪酸氧化及不饱和脂肪酸代谢必不可少的催化酶，核黄素缺乏会造成血浆和肝脏不饱和脂肪酸（如花生四烯酸和亚麻油酸）的浓度明显下降[4]。此外，核黄素能够通过影响脂肪酸的 β 氧化，从而影响到脂肪代谢[5]。但饲粮中核黄素的添加是否改善獭兔的肉品质，目前仍未知。

獭兔是典型的皮肉兼用型兔，其毛皮具有相当高的经济价值。獭兔毛皮的质量受到皮张大小、厚度以及毛密度的影响。核黄素的缺乏会引起皮肤病的发生，本实验室前期试验也发现，饲粮中添加 12 mg/kg 的核黄素能提高了獭兔的皮张面积[1]。此外，在大鼠上发现核黄素还能影响到毛囊的发育[6]。但饲粮中添加核黄素能否影响到家兔的毛囊发育目前尚未知。因此，本试验在饲粮中添加不同水平的核黄素，通过测定肉品质、毛囊发育及免疫性能指标，进一步确定饲粮中核黄素的适宜添加水平，对确定生长獭兔核黄素准确需要量具有重要意义。

1　材料与方法

1.1　试验动物

试验选用平均体重为（1 860±144） g 的 3 月龄健康獭兔 160 只，公母各占 1/2，按体重随机将其分成 4 组，每组 40 个重复，每个重复 1 只兔。各组分别饲喂在基础饲粮中添加 0（对照）、3、6 和 12 mg/kg 核黄素的 4 种饲粮（饲粮中核黄素的实测水平分别为 2.62、4.43、8.35 和 14.94 mg/kg）。基础饲粮参照 NRC（1977）家兔饲养标准配制，其组成及营养水平见表 1。预试期 7 d，正试期 53 d。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　　%

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels2)	含量 Content
玉米 Corn	16.0	消化能 DE/(MJ/kg)	10.08

豆粕 Soybean meal	17.0	粗蛋白质 CP	15.79
小麦麸 Wheat bran	18.0	粗纤维 CF	17.05
花生秧 Peanut vine	46.0	粗脂肪 EE	3.13
碳酸氢钙 $CaHPO_4$	1.5	钙 Ca	1.24
食盐 NaCl	0.5	磷 P	0.67
预混料 Premix[1)]	1.0		
合计 Total	100.0		

[1)]预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of the diet: VA 13 500 IU，VE 15 mg，VK 1.5 mg，VB_1 1.8 mg，VB_2 6 mg，VB_5 13.5 mg，VB_6 0.3 mg，VB_{12} 0.024 mg，Cu 10 mg，Fe 60 mg，Zn 70 mg，Mn 16 mg，Se 0.1 mg，生物素 biotin 0.09 mg，叶酸 folic acid 0.3 mg，地克珠利 diclazuril 5 mg。

[2)]代谢能为计算值，其余均为实测值。ME was a calculated value, while the others were measured values.

1.2 饲养管理及样品采集

试验兔单笼饲养，采用常规饲养管理和免疫程序，自然采光、通风，自由饮水，3～5 d 消毒兔舍 1 次。

试验结束后每组随机抽取 8 只试验兔，立即心脏采血，37 ℃水浴 40 min 后，3 000 r/min 离心 15 min，分离血清，并置于-20 ℃冷冻保存。采用颈椎错位法致死后屠宰，在兔皮肩、背、臀处分别采集样品置于多聚甲醛溶液中固定，用于毛囊密度（肩、背、臀处的平均值）的测定。

1.3 测定方法

1.3.1 免疫因子含量的测定

血清免疫球蛋白 G（IgG）、免疫球蛋白 M（IgM）、免疫球蛋白 A（IgA）、白细胞介素-2（IL-2）含量采用酶联免疫吸附试验（ELLSA）试剂盒在酶标仪下测定，所用试剂盒购自南京建成生物工程研究所。

1.3.2 毛囊密度测定

毛囊密度采用石蜡切片和苏木精-伊红（HE）染色法在显微镜下进行图像分析，观察记录初级毛囊密度和次级毛囊密度，计算次级毛囊密度/初级毛囊密度。

1.3.3 肉品质测定

pH：屠宰后立即用 Mettler MP120 型酸碱度计测量背腰最长肌第五肋骨处的 pH，将探头插入肌肉 3 mm 处读数，24 h 后再测量 1 次。

滴水损失：屠宰后 2~3 h 取第 2、3 腰椎处背最长肌，顺肉样肌纤维方向切成 2 cm 厚的肉片，修成 5 cm×3 cm 的长条称重，用棉线穿过肉条悬空挂于纸杯中（肉样不得与纸杯壁接触），纸杯口用保鲜膜密封，置于 4 ℃冰箱中 24 h 后取出样品再次称重。

滴水损失（%）=[（吊挂前肉条重-吊挂后肉条重）/吊挂前肉条重]×100。

肉色：用日本产 CR-10 型号色差仪，利用 CIE-Lab 输出模式，从背腰最长肌处切开切面，分别记录亮度（L^*）、红度（a^*）、黄度（b^*）值。

1.4 统计分析

试验数据统计采用 SAS 8.0 统计软件 ANOVA 法进行单因素方差分析，如果处理效应差异显著，采用 Duncan 氏法进行多重比较，数据用平均值±标准误表示，P<0.05 为差异显著。

2 结 果

2.1 饲粮中核黄素添加水平对生长獭兔肉品质的影响

由表 2 可见，饲粮中核黄素添加水平对生长獭兔肌肉 L^*值、a^*值、滴水损失影响显著（P<0.05）。随着饲粮中核黄素添加水平的增加肌肉滴水损失呈降低趋势，12 mg/kg 添加组肌肉的 a^*值显著低于其他各组（P<0.05），3 mg/kg 添加组肌肉的 L^*值显著低于对照组（P<0.05）。饲粮中核黄素添加水平对肌肉的 pH 和 b^*值没有显著影响（P>0.05）。

表 2 饲粮中核黄素添加水平对生长獭兔肉品质的影响

Table 2 Effects of dietary riboflavin supplemental level on meat quality of growing Rex rabbits

项目 Items	核黄素添加水平 Riboflavin supplemental level/（mg/kg）				R-MSE	P 值 P-value
	0	3	6	12		
pH	6.57	6.54	6.57	6.67	0.16	0.443 7
滴水损失 Drip loss /%	5.94[a]	5.02[ab]	4.24[b]	4.25[b]	0.90	0.003 1
亮度 L^*	35.33[a]	30.39[b]	32.14[ab]	34.01[ab]	3.54	0.028 8
红度 a^*	44.55[a]	46.23[a]	42.31[a]	39.04[b]	3.07	0.005 0
黄度 b^*	-11.61	-13.20	-12.90	-11.89	2.76	0.606 4

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2　饲粮中核黄素添加水平对生长獭兔毛囊发育的影响

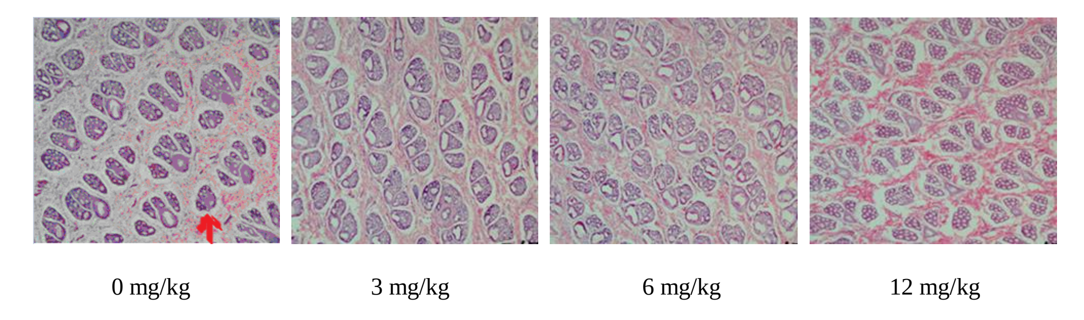
由表 3 可见，与对照组相比，3、6、12 mg/kg 添加组显著提高了獭兔皮肤中总毛囊密度（P<0.05），3、6 mg/kg 添加组显著提高了獭兔皮肤中初级毛囊密度（P<0.05），6、12 mg/kg 添加组显著提高了獭兔皮肤中次级毛囊密度（P<0.05），3、6 mg/kg 添加组显著降低了獭兔皮肤中次级毛囊密度/初级毛囊密度（P<0.05）。

表 3　饲粮中核黄素添加水平对生长獭兔毛囊发育的影响

Table 3　Effects of dietary riboflavin supplemental level on hair follicle development of growing Rex rabbits

项目 Items	核黄素添加水平 Riboflavin supplemental level/（mg/kg）				R-MSE	P 值
	0	3	6	12		P-value
总毛囊密度 Total hair follicle density/mm^2	314.95^b	351.15^a	358.08^a	374.24^a	39.60	0.005 6
初级毛囊密度 Primary hair follicle density/mm^2	8.49^c	15.86^a	14.1^{ab}	11.7^{bc}	2.96	<0.000 1
次级毛囊密度 Secondary hair follicle density/mm^2	306.46^b	335.29^{ab}	343.98^a	362.54^a	39.48	0.010 7
次级毛囊密度/初级毛囊密度 Secondary hair follicle density/primary hair follicle density	38.47^a	21.99^b	25.24^b	33.41^{ab}	7.50	<0.000 1

由图 1 可见，与对照组相比，3、6、12 mg/kg 添加组明显提高了獭兔皮肤中毛囊密度。



图像放大 100 倍，箭头表示毛囊簇。Image was magnified 100 times, the arrow represent clusters of hair follicle

图 1　各组毛皮组织切片图

Fig.1　Photograph of fur tissue slicing of each group

2.3　饲粮中核黄素添加水平对生长獭兔免疫器官的影响

由表 4 可见，饲粮中核黄素添加水平对生长獭兔的胸腺重和胸腺指数影响显著（P<0.05），且随着饲粮中核黄素添加水平的升高呈先增加后降低的趋势，均在 6 mg/kg 添加组中达到最大值，显著高于对照组（P<0.05）。饲粮中核黄素添加水平对生长獭兔的脾脏重和脾脏指数无显著影响（P>0.05）。

表 4　饲粮中核黄素添加水平对生长獭兔免疫器官的影响

Table 4　Effects of dietary riboflavin supplemental level on immune organ of growing Rex rabbits

项目 Items	核黄素添加水平 Riboflavin supplemental level/（mg/kg）				R-MSE	P 值 P-value
	0	3	6	12		
胸腺重 Thymus weight/g	3.7^{b}	3.87^{ab}	3.93^{a}	3.81^{ab}	0.11	0.004 5
脾脏重 Spleen weight/g	0.74	0.76	0.76	0.77	0.19	0.994 0
胸腺指数 Thymus index/（g/kg）	1.48^{b}	1.58^{a}	1.59^{a}	1.51^{b}	0.04	<0.000 1
脾脏指数 Spleen index/（g/kg）	0.30	0.31	0.30	0.31	0.07	0.985 4

2.4　饲粮中核黄素添加水平对生长獭兔血清免疫因子含量的影响

由表5可见，饲粮中核黄素添加水平对獭兔血清IgG、IgA和IL-2含量影响显著（P<0.05），且均随着饲粮中核黄素添加水平的升高呈先增加后降低的趋势，均在6 mg/kg添加组中达到最大值，显著高于对照组（P<0.05）。饲粮中核黄素添加水平对獭兔血清IgM含量无显著影响（P>0.05）。

表5　饲粮中核黄素添加水平对生长獭兔血清免疫因子含量的影响

Table 5　Effects of dietary riboflavin supplemental level on serum immune factor content of growing Rex rabbits

项目 Items	核黄素添加水平 Riboflavin supplemental level/（mg/kg）				R-MSE	P 值 P-value
	0	3	6	12		
免疫球蛋白G IgG（g/L）	6.68^{b}	8.26^{ab}	9.25^{a}	8.41^{ab}	1.22	0.013 5
免疫球蛋白A IgA（g/L）	0.63^{b}	0.72^{ab}	0.83^{a}	0.82^{a}	0.09	0.002 5
免疫球蛋白M IgM（g/L）	0.31	0.33	0.34	0.32	0.03	0.516 1
白细胞介素-2 IL-2（ng/ml）	35.12^{b}	37.04^{b}	45.67^{a}	41.71^{ab}	7.28	0.031 4

3　讨　论

3.1　饲粮中核黄素添加水平对生长獭兔肉品质的影响

肉品质一般从外观（肉色）、适口性（嫩度、风味）、营养价值等各方面理化性质来综合评判其商品价值。肉色是消费者购买禽肉产品时最直观的一个性状，它对消费者的购买欲望有强烈的影响，是重要的肉品质指标之一。本试验中饲粮中核黄素添加水平显著影响了獭兔肌肉的L*、a*值，3 mg/kg添加组獭兔肌肉的L*值显著低于对照组，12 mg/kg添加组獭兔肌肉的a*值显著低于对照组，说明核黄素的添加能够影响到獭兔肌肉的色泽。但6 mg/kg添加组獭兔肌肉的L*、a*值与对照组并无显著差异。肌红蛋白是决定肉色的主要蛋白质，核黄素添加水平的高低会影响细胞ATP的活性，若核黄素缺乏，可引起小肠黏膜铁蛋白还原酶的活性降低，影响铁吸收和代谢，从而影响到肌红蛋白的合成过程[8]。但也有学者认为核黄素能降低肉色，核黄素能抑制雷帕霉素靶蛋白的表达，从而抑制相关蛋白质的表达[9]。

核黄素以黄素酶形式，参与机体重要的氧化还原反应，如氧化脱羧反应、脱氢反应、羟

化反应等，这些反应与机体脂类、蛋白质以及碳水化合物的代谢都有紧密的关系。研究发现，核黄素添加水平可影响烟酰胺腺嘌呤二核苷酸脱氢酶的活性，进而影响机体乳酸的产生，导致肌肉内 pH 变化[10]。但在本试验中饲粮添加核黄素并未影响肌肉 pH 变化。Le Bihan-Duval 等[7]发现 pH 与胸肌的 L*值存在显著的负相关，说明 pH 与肉色的关系比较复杂。首先，pH 的影响与血红素的反应相关；其次，pH 影响肉中水分对蛋白质的结合能力，从而直接影响肉的物理结构和亮度。pH 还影响线粒体中酶的活性，从而改变其在血红素反应中的氧化活性。此外，pH 快速下降使肌肉颜色苍白、系水力降低，抑制蛋白质分解酶，降低肌肉嫩度。

肌肉中大约有 3/4 都是水分，屠宰后，水分被从肌纤维间隙中挤出到细胞间隙，细胞间隙的水分就会部分流失。损失的水分中含有稀释的肌浆蛋白，导致部分营养物质流失。滴水损失较高的肉品表现出肉色较浅、嫩度和风味较差、风味物质易流失的趋势。滴水损失导致肉的产量下降，造成一定的经济损失，并且影响包装的美观。本试验中饲粮中添加核黄素显著降低了家兔肌肉的滴水损失，表明适宜的核黄素添加水平可提高肌肉的系水力，从而改善肉品质。此外，本试验中核黄素降低肉色可能不是滴水损失的改变造成的，适宜水平的核黄素提高肌肉系水可能与其降低脂质过氧化和蛋白质氧化有关。家兔骨骼肌中含有大量的不饱和脂肪酸，极容易受到氧化应激，脂质过氧化不仅可破坏肌肉细胞的结构完整性，还会导致蛋白质氧化，使肌肉系水力下降[11]。

3.2　饲粮中核黄素添加水平对生长獭兔毛囊发育的影响

营养状况、年龄、品种、性别等很多因素都可影响到动物毛皮生长状况，尤其营养的因素，长时间的营养缺乏会导致机体生长发育缓慢，毛皮质量下降。研究发现，饲粮中缺乏核黄素会导致毛发数量的减少[12]。而毛囊的密度决定了獭兔皮毛的被毛密度，所以对獭兔毛囊进行研究具有重要的理论和实践意义。本试验中发现，与对照组相比，3、6、12 mg/kg 添加组均提高了獭兔皮肤中初级毛囊密度、次级毛囊密度和总毛囊密度，说明饲粮中添加核黄素对毛囊发育具有显著的促进作用，特别是在 6 mg/kg 组中各项指标都达到了显著水平。初级毛囊分化早，发育早，形成粗毛；次级毛囊分化晚，发育迟，形成绒毛。本试验中发现饲粮中添加核黄素降低了次级毛囊密度/初级毛囊密度，说明核黄素能加快毛囊的分化时间，使得粗毛的形成比例增加。核黄素不仅是毛囊发育的滋养物，还能影响决定毛囊发育的激素合成。研究发现 B 族维生素能促进褪黑激素的产生，而褪黑激素对畜禽的毛囊发育起决定性作用[13]。

3.3　饲粮中核黄素添加水平对生长獭兔免疫性能的影响

胸腺是免疫-内分泌器官与神经系统的联结物，是机体重要的免疫器官。造血干细胞经血液循环运输到达胸腺后，在皮质层增殖分化产生淋巴细胞；淋巴细胞中只有小部分能进入髓质继续发育成为接近成熟的 T 淋巴细胞。脾脏含有大量的淋巴细胞和巨噬细胞，是机体最大的免疫器官。脾脏是 B 淋巴细胞和 T 淋巴细胞增殖分化和产生免疫应答的场所，可以分泌特殊的抗体，脾脏与机体的细胞免疫和体液免疫的应答反应密切联系，在机体中发挥抗肿瘤作用。本试验中，饲粮中核黄素添加水平可显著影响生长獭兔的胸腺重和胸腺指数。这一结果与肉鸡和蛋鸭上研究结果[14-15]一致。这说明核黄素能促进胸腺的生长发育，促进生长獭兔免疫功能的发挥，促进獭兔免疫器官发育的适宜饲粮核黄素添加水平为 6 mg/kg。

免疫球蛋白是一种具有抗体活性的球蛋白，是动物体内重要的免疫效应因子，经抗原诱导可以转化为抗体。IgG 在免疫反应中可以与病原体结合，使其失去感染的能力，此外还有降低毒素、吞噬病毒的作用。血清型 IgA 有介导调理吞噬抗体依赖细胞介导的细胞毒性作用。IgM 是最早分泌出来的，因此，在免疫应答早期反应中起着重要作用。血清中 IgM 有较高的结合价，在血清中的含量微少，但是在生物抗体中效率非常高。而 IL-2 是由活化的 $CD4^{+}T$ 细胞和 $CD8^{+}T$ 细胞受抗原刺激后产生的具有生物活性的细胞因子，可促进活化 B 细胞生长和分化，故为调控免疫应答的重要因子，也参与抗体反应、造血和肿瘤监视等。饲粮中核黄素的添加对獭兔血清中 IgA 和 IgM 起到了促进分泌的作用，说明核黄素能促进机体淋巴细胞分泌免疫因子，这与核黄素促进胸腺器官发育现象相吻合，进一步说明了核黄素促进机体免疫能力的发挥。与对照组相比，6 mg/kg 添加组血清 IgA、IgM 和 IL2 含量都显著升高了，说明 6 mg/kg 核黄素的添加水平较为理想。

4 结　论

饲粮中添加核黄素能促进生长獭兔的毛囊发育，提高肉品质，改善免疫性能。综合考虑，3~5 月龄獭兔饲粮中核黄素的适宜添加水平为 6 mg/kg（实际测定饲粮中核黄素水平为 8.35 mg/kg）。

参考文献:

[1] 郑琛,李春燕,隋啸一,等.饲粮核黄素添加水平对生长獭兔生长性能、毛皮质量、血液指标及抗氧化功能的影响[J].动物营养学报,2015,27(3):804–810.

[2] 赵秀花.日粮中铁和核黄素添加量对仔鸡生产性能、部分生化指标和免疫功能的影响[D].硕士学位论文.扬州:扬州大学,2005.

[3] 蒋亚军.烟酸、核黄素对奶牛生产性能、抗氧化能力和免疫力的影响[D].硕士学位论文.石河子:石河子大学,2011.

[4] BURGESS C M,SMID E J,VAN SINDEREN D.Bacterial vitamin B2,B11 and B12 overproduction:an overview[J].International Journal of Food Microbiology,2009,133(1/2):1–7.

[5] LIANG H F,LIU Q P,XU J.The effect of riboflavin on lipid peroxidation in rats[J].Journal of Hygiene Research,1999,28(6):370–371.

[6] WOLBACH S B,BESSEY O A.Tissue changes in vitamin deficiencies[J].Physiological Reviews,1942,22(3):233–289.

[7] LE BIHAN-DUVAL E,BERRI C,BAEZA E,et al.Estimation of the genetic parameters of meat characteristics and of their genetic correlations with growth and body composition in an experimental broiler line[J].Poultry Science,2001,80(7):839–843.

[8] 项昭保,戴传云,朱蠡庆.核黄素生理生化特征及其功能[J].食品研究与开发,2004,25(6):90–92,95.

[9] CHAVES NETO A H,PELIZZARO-ROCHA K J,FERNANDES M N,et al.Antitumor activity of irradiated riboflavin on human renal carcinoma cell line 786-O[J].Tumor Biology,2015,36(2):595–604.

[10] DRANSFIELD E,SOSNICKI A A.Relationship between muscle growth and poultry meat quality[J].Poultry Science,1999,78(5):743–746.

[11] ALI S,ZHANG W G,RAJPUT N,et al.Effect of multiple freeze-thaw cycles on the quality of chicken breast meat[J].Food Chemistry,2015,173:808–814.

[12] RUSHTON D H.Nutritional factors and hair loss[J].Clinical and Experimental Dermatology,2002,27(5):396–404.

[13] No Authors Listed.Pyridoxine (vitamin B6) influence on endogenic melatonin production during the experiment[J].Georgian Med News,2007,153:35–38.

[14] 汪张贵,王志跃,龚道清,等.核黄素不同水平对新扬州仔鸡生长性能和免疫器官发育的影响[J].饲料工业,2004,25(9):37–40.

[15] 霍思远,王安,冯婧.核黄素对笼养生长期蛋鸭生产性能、激素分泌及免疫器官发育的影响[J].动物营养学报,2011,23(11):1906–1911.

Effects of Dietary Riboflavin Supplemental Level on Meat Quality, Hair Follicle Development and Immune Performance of Growing Rex Rabbits

SUN Haitao[1,2] ZHENG Chen[3] LI Fuchang[3] LIU Lei[3*]

(1. *Institute of Animal Science and Veterinary Medicine, Shandong Academy of Agricultural Science, Jinan* 250100, *China; 2. Shandong Key Lab of Animal Disease Control and Breeding, Jinan* 250100, *China*; 3. *College of Animal Science and Technology, Shandong Agricultural University, Tai'an* 271018, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary nicotinic acid supplemental level on meat quality, hair follicle development and immune performance of growing Rex rabbits. A total of 160 three-month-old Rex rabbits with similar body weight of were randomly divided into 4 groups with 40 replicates per group and 1 rabbit per replicate. Rabbits in the control group were fed a basal diet, and the others in the experimental groups were fed the experimental diets supplemented with 3, 6 and 12 mg/kg riboflavin, respectively. The pre-test period lasted for 7 days, and the experimental period lasted for 53 days. The results showed that compared with the control group, dietary supplemented with 6 and 12 mg/kg riboflavin significantly reduced the meat drip loss of Rex rabbits (P<0.05), dietary supplemented with 3, 6 and 12 mg/kg riboflavin significantly increased the skin total hair follicles density of Rex rabbits (P<0.05), dietary supplemented with 3 and 6 mg/kg riboflavin significantly increased the skin primary hair follicles density of Rex rabbits (P<0.05), dietary supplemented with 6 and 12 mg/kg riboflavin significantly increased the skin secondary hair follicles density of Rex rabbits (P<0.05), dietary supplemented with 6 and 12 mg/kg riboflavin significantly decreased the ratio of secondary hair follicles density to primary hair follicles density of Rex rabbits (P<0.05). Dietary riboflavin supplemental level significantly affect the thymus weight, thymus index and the content of immunoglobulin G, immunoglobulin A and interleukin 2 in serum of Rex rabbits (P<0.05), and all the above indices were showed a firstly increase then decrease tendency with dietary riboflavin supplemental level increasing, and got the max value in the 6 mg/kg supplemental group, significantly high than those in the control group (P<0.05). In conclusion，the suitable dietary riboflavin supplement level of Rex rabbits aged from 3 to 5 months is 6 mg/kg (measured dietary riboflavin level is 8.35 mg/kg).

Key words: Rex rabbits; riboflavin; meat quality; hair follicle development; immune performance

---

*Corresponding author, lecturer, E-mail: liusanshi1985@126.com

（责任编辑　武海龙）